



(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
26.09.2001 Bulletin 2001/39

(51) Int Cl.⁷: **H01S 3/06**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR98/02848

(21) Numéro de dépôt: **98963608.9**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 99/34486 (08.07.1999 Gazette 1999/27)

(22) Date de dépôt: **23.12.1998**

(54) **MICROLASER A DECLENCHEMENT PASSIF ET A POLARISATION CONTROLEE**
PASSIV GÜTEGESCHALTETER MIKROLASER MIT GEREGLTER POLARISATION
PASSIVE Q-SWITCHED MICROLASER WITH CONTROLLED POLARISATION

(84) Etats contractants désignés:
DE GB IT

• **MARTY, Jean**
F-38180 Seyssins (FR)

(30) Priorité: **24.12.1997 FR 9716518**

(74) Mandataire: **Audier, Philippe André**
Brevatome,
3, rue du Docteur Lancereaux
75008 Paris (FR)

(43) Date de publication de la demande:
11.10.2000 Bulletin 2000/41

(73) Titulaire: **COMMISSARIAT A L'ENERGIE**
ATOMIQUE
75015 Paris (FR)

(56) Documents cités:
EP-A- 0 653 824 US-A- 5 394 413
US-A- 5 414 724

(72) Inventeurs:

- **FERRAND, Bernard**
F-38340 Voreppe (FR)
- **CHAMBAZ, Bernard**
F-38180 Seyssins (FR)
- **FULBERT, Laurent**
F-38500 Voiron (FR)

- **LIU H ET AL: "SINGLE-FREQUENCY**
Q-SWITCHED CR-ND: YAG LASER OPERATING
AT 946-NM WAVELENGTH" IEEE JOURNAL OF
SELECTED TOPICS IN QUANTUM
ELECTRONICS, vol. 3, no. 1, février 1997, pages
26-28, XP000694385

EP 1 042 847 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention a trait à une cavité laser à déclenchement passif par absorbant saturable et à polarisation contrôlée, et à un laser en particulier un microlaser comprenant ladite cavité et des moyens de pompage de cette cavité.

[0002] L'invention concerne également un procédé de fabrication dudit microlaser.

[0003] Le domaine de l'invention peut de manière très générale être défini comme étant celui des lasers déclenchés et en particulier des microlasers déclenchés pompés par diode qui se développent très intensément aujourd'hui.

[0004] Un des avantages du microlaser réside dans sa structure en un empilement de multicouches. Le milieu actif laser est constitué par un matériau de faible épaisseur par exemple, entre 150-1 000 μm et de petites dimensions (quelques mm^2), sur lequel des miroirs diélectriques de cavité sont directement déposés. Ce milieu actif peut être pompé par une diode laser III-V qui est soit directement hybridée sur le microlaser, soit couplée à ce dernier par fibre optique. La possibilité d'une fabrication collective utilisant les moyens de la micro-

électronique autorise une production de masse de ces microlasers à très faible coût.

[0005] Les microlasers ont de nombreuses applications, dans des domaines aussi variés que l'industrie automobile, l'environnement, l'instrumentation scientifique, la télémétrie, etc...

[0006] Les microlasers connus ont, en général, une émission continue de quelques dizaines de mW de puissance. Cependant, la plupart des applications citées ci-dessus, nécessitent des puissances crêtes (puissance instantanée) de quelques kW délivrées pendant 10^{-8} à 10^{-9} secondes, avec une puissance moyenne de quelques dizaines de mW.

[0007] Dans les lasers solides, on peut obtenir de telles puissances crêtes élevées en les faisant fonctionner en mode pulsé à des fréquences variant entre 10 et 10^4 Hz. Pour cela, on utilise des procédés bien connus de déclenchement, par exemple par « Q-switch ».

[0008] De façon plus précise, déclencher une cavité laser consiste à rajouter dans celle-ci des pertes variables dans le temps qui vont empêcher l'effet laser pendant un certain temps, durant lequel l'énergie de pompage est stockée dans le niveau excité du matériau à gain. Ces pertes sont brusquement diminuées, à des moments précis, libérant ainsi l'énergie emmagasinée en un temps très court (« giant pulse » ou impulsion géante). On atteint ainsi une puissance crête élevée.

[0009] Dans le cas d'un déclenchement dit actif, la valeur des pertes est pilotée de façon externe par l'utilisateur (exemple : miroir de cavité tournant, acousto-optique ou électro-optique intracavité changeant soit le trajet du faisceau, soit son état de polarisation). La durée de stockage, l'instant d'ouverture de la cavité, ainsi que le taux de répétition peuvent être choisis indépendam-

ment. En contrepartie, cela nécessite une électronique adaptée et complique le système laser.

[0010] Un microlaser déclenché activement est décrit par exemple dans le document EP-A-724 316.

[0011] Dans le cas d'un déclenchement dit passif, les pertes variables sont introduites dans la cavité sous forme d'un matériau (appelé Absorbant Saturable - A. S. -) qui est fortement absorbant (transmission T_{min}) à la longueur d'onde laser, à faible densité de puissance, et qui devient pratiquement transparent (transmission T_{max}) lorsque cette densité dépasse un certain seuil qu'on appelle intensité de saturation de l'A. S.

[0012] L'énorme avantage du déclenchement passif est qu'il ne nécessite aucune électronique de pilotage, et que donc les impulsions peuvent être générées sans intervention extérieure.

[0013] Pour ce type de fonctionnement, dit « déclenchement passif », l'utilisateur peut choisir, d'une part, la transmission minimum (T_{min}) de l'absorbant saturable, afin de l'adapter au pompage disponible et, d'autre part, la cavité laser, par l'intermédiaire de la géométrie et de la transmission du miroir de sortie.

[0014] Une fois ces paramètres fixés, le système a un point de fonctionnement caractérisé par la durée des impulsions (« pulses ») émises, la fréquence de répétition, et la puissance émise, ainsi que l'énergie par impulsion (« pulse »).

[0015] Les caractéristiques telles que l'énergie et la durée de l'impulsion laser dépendent de celles de l'absorbant saturable et de l'oscillateur.

[0016] Par contre, la fréquence de répétition des impulsions est directement proportionnelle à la puissance de la diode laser de pompe. Le faisceau laser obtenu présente des caractéristiques presque parfaites : généralement monomode transverse et longitudinal, faisceau gaussien limité par la diffraction.

[0017] Les monocristaux utilisés comme absorbant saturable (A. S.) doivent donc présenter des caractéristiques bien précises qui sont obtenues par un contrôle très précis des substitutions et de l'épaisseur du matériau.

[0018] Les microlasers, actuellement fabriqués, tels que les microlasers déclenchés passivement comprennent généralement un milieu ou matériau actif solide qui peut être constitué d'un matériau de base choisi, par exemple parmi $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (YAG), $\text{LaMgAl}_{11}\text{O}_9$ (LMA), YVO_4 , Y_2SiO_5 , YLiF_4 et GdVO_4 dopés avec un élément tel que l'Erbium (Er), l'Ytterbium (Yb), le Néodyme (Nd), le Thulium (Tm), l'Holmium (Ho), ou codopés par un mélange de plusieurs de ces éléments, tels que Er et Yb, ou Tm et Ho.

[0019] Les microlasers fonctionnent à différentes longueurs d'ondes suivant leur substitution, ainsi leur longueur d'onde d'émission est autour de 1,06 μm , lorsque la matière active est dopée par Nd^{3+} , autour de 1,55 μm , lorsqu'elle est dopée par Er^{3+} , Yb^{3+} , et autour de 2 μm , lorsqu'elle est dopée par Tm^{3+} et Ho^{3+} .

[0020] Par ailleurs, des absorbants saturables con-

nus contiennent des molécules organiques responsables de l'absorption. Ces matériaux, qui se présentent sous forme liquide ou plastique, sont très souvent de mauvaise qualité optique, vieillissent très vite et ont une mauvaise tenue au flux laser.

[0021] Des matériaux solides massifs sont aussi utilisés en tant qu'absorbants saturables. Par exemple pour les lasers émettant autour de $1\ \mu\text{m}$, dont la matière active est constituée de YAG avec des ions actifs Nd^{3+} ou Yb^{3+} , on peut utiliser des cristaux de $\text{LiF} : \text{F}_2$ comportant des centres colorés responsables du comportement d'absorbant saturable du matériau et qui ont une durée de vie limitée, ou bien encore certains cristaux massifs dopés au Cr^{4+} qui présentent une absorption saturable autour de $1\ \mu\text{m}$.

[0022] Les absorbants saturables massifs présentent notamment l'inconvénient d'une concentration en ion absorbant limité, qui nécessite l'emploi d'une grande épaisseur de matériau.

[0023] Pour remédier aux problèmes posés par les absorbants saturables massifs, le document FR-A-2 712 743 décrit une cavité laser à milieu actif solide dans lequel l'absorbant saturable est réalisé sous la forme d'une couche mince monocristalline.

[0024] La forme de couche mince permet notamment de minimiser les pertes à l'intérieur de la cavité laser qui sont dues à la forme massive de l'absorbant saturable classique.

[0025] En outre, il est possible de déposer la couche mince sur des substrats de forme et de dimensions variées.

[0026] Enfin, la forme de couche mince permet également de réaliser un gain de place à l'intérieur de la cavité laser.

[0027] La couche mince est, dans ce document, réalisée de préférence par épitaxie en phase liquide. Une telle technique de dépôt permet notamment d'accéder à des concentrations en dopants plus élevées que les procédés classiques de croissance de cristaux massifs, c'est-à-dire les procédés tels que Czochralski, Bridgman...

[0028] Elle permet également d'élaborer plus facilement des couches monocristallines dopées par différents ions. Par ailleurs, l'épitaxie en phase liquide (EPL) est le seul procédé classique qui permette d'obtenir des couches monocristallines d'épaisseurs importantes supérieures, par exemple à $100\ \mu\text{m}$.

[0029] Dans ce document ainsi que dans le document EP-A-0 653 824, il est également décrit le dépôt par épitaxie en phase liquide de la couche mince d'absorbant saturable, directement sur le matériau actif laser jouant le rôle de substrat.

[0030] Pour cela, il faut que le matériau actif soit de même structure que le matériau absorbant saturable et que l'épitaxie en phase liquide de ce matériau soit réalisable.

[0031] A ce jour, seul $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (YAG) remplit ces conditions.

[0032] Ainsi un microlaser (ou laser puce) classique déclenché passivement est constitué généralement d'un matériau actif laser par exemple en YAG : Nd qui est le milieu actif émetteur de lumière émettant à $1,06\ \mu\text{m}$, sur lequel est épitaxiée une couche par exemple de YAG : Cr^{4+} plus ou moins épaisse et plus ou moins concentrée en Cr^{4+} suivant les performances dérivées.

[0033] Le procédé de fabrication d'un tel microlaser est décrit dans le brevet EP-A-0 653 824 déjà mentionné.

[0034] Après épitaxie de YAG : Cr^{4+} sur le substrat de YAG : Nd, une étape de polissage permet d'obtenir une lame ayant le parallélisme, la planéité et l'épaisseur voulus.

[0035] Les miroirs d'entrée et de sortie de la cavité laser, formés par un empilement de couches diélectriques, sont ensuite déposés sur les faces de la lame.

[0036] La lame est enfin découpée en microlasers élémentaires. Plusieurs centaines de microlasers peuvent ainsi être fabriqués de façon collective dans une seule lame.

[0037] Il est à noter que, dans tous les cas, le cristal émetteur YAG : Nd est orienté suivant l'axe [111], qui est l'axe de croissance normale des grenats, et qui permet d'obtenir un rendement laser maximum.

[0038] Le YAG : Cr^{4+} épitaxié a donc cette même orientation, le cristal émetteur en YAG : Nd jouant le rôle de substrat.

[0039] De ce fait et malgré tous les avantages qu'il présente, le procédé de fabrication classique de microlasers tel qu'il est décrit ci-dessus ne permet pas de contrôler la polarisation du faisceau des microlasers.

[0040] En effet, les microlasers fabriqués dans des cristaux orientés [111] ont une direction de polarisation qui dépend généralement des contraintes résiduelles engendrées par l'épitaxie. La direction de polarisation n'est pas constante sur toute la surface du substrat ou lame dans lequel les microlasers ont été découpés.

[0041] Il existe cependant des méthodes pour fixer la polarisation du microlaser en appliquant une contrainte sur une des faces latérales du microlaser. Mais dans ce cas, il faut prévoir un montage permettant d'appliquer une contrainte sur chaque microlaser élémentaire, ce qui est incompatible avec un procédé de fabrication collective.

[0042] Par ailleurs, dans les dispositifs classiques, des cristaux massifs de YAG : Cr^{4+} sont utilisés comme absorbants saturables et sont placés dans la cavité laser le plus près possible du cristal émetteur. Dans ce cas leurs dimensions sont de l'ordre de quelques millimètres et les cristaux de YAG : Cr^{4+} sont généralement orientés suivant l'axe cristallographique [100]. En effet, le maximum de saturation est obtenu lorsque le faisceau incident est polarisé parallèlement à un axe cristallographique du cristal. Les cavités laser ainsi obtenues ne présentent jamais un faisceau laser dont la polarisation peut être définie à l'avance. Il n'y a donc pas de possibilités de prévoir quelle sera la polarisation du faisceau

émis avant de le tester.

[0043] Or l'obtention d'un faisceau polarisé linéairement est très importante dans de nombreuses applications comme l'optique non linéaire en général et le doublement de fréquence en particulier.

[0044] Dans l'état actuel de la technique, il n'est pas possible de fabriquer collectivement des microlasers doublés en fréquence. Le cristal non linéaire qui assure la conversion de fréquence doit être tourné en fonction de la polarisation du faisceau de chaque microlaser, sans connaissance a priori de la direction de polarisation du faisceau.

[0045] L'inhomogénéité de la polarisation du faisceau sur le substrat ne permet pas d'assembler le substrat avec une lame de matériau non linéaire et de le découper ensuite pour fabriquer collectivement des microlasers doublés en fréquence.

[0046] Il existe donc un besoin non encore satisfait pour une cavité laser présentant une direction de polarisation parfaitement contrôlée, connue, et constante sur l'ensemble du substrat en particulier de la lame, jouant le rôle de matériau actif laser.

[0047] Il existe en outre un besoin pour une cavité laser et pour un microlaser ayant une direction de polarisation connue, et constante, et qui puissent être obtenues par un procédé éprouvé de fabrication collective sans avoir recours à d'autres étapes, ou utiliser des montages complexes.

[0048] L'invention est définie par les revendications 1 et 15.

[0049] Le but de l'invention est, entre autres, de répondre à ces besoins, et de fournir une cavité laser et un laser tel qu'un microlaser qui ne présentent pas les inconvénients, défauts et limitations des cavités lasers et des lasers, en particulier, des microlasers de l'art antérieur, et qui résolvent les problèmes de l'art antérieur.

[0050] Ce but, et d'autres encore, sont atteints, conformément à l'invention, par une cavité laser à polarisation contrôlée comprenant un substrat en matériau actif laser $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG) dopé ou non, sur lequel est déposé directement par épitaxie en phase liquide ou par un procédé analogue, une couche monocristalline de matériau absorbant saturable en YAG dopé, dans laquelle ledit matériau actif laser est orienté [100], et ladite couche monocristalline de matériau absorbant saturable est déposée suivant la même orientation [100].

[0051] Selon l'invention ladite couche monocristalline de matériau absorbant saturable en YAG dopé est obtenue par épitaxie en phase liquide (EPL) ou par un procédé analogue c'est-à-dire par un procédé permettant d'obtenir une couche ayant les mêmes caractéristiques qu'une couche obtenue par EPL, un tel procédé peut être par exemple un procédé de dépôt en phase vapeur ou un procédé de dépôt par ablation laser.

[0052] On peut alors, en d'autres termes, parler d'une couche susceptible d'être obtenue par épitaxie en phase liquide.

[0053] De préférence toutefois la couche monocris-

talline de matériau absorbant saturable est obtenue par épitaxie en phase liquide.

[0054] La cavité laser selon l'invention dans laquelle le substrat en matériau actif laser est orienté [100] se différencie fondamentalement des cavités de l'art antérieur dans lesquelles les substrats en matériau actif laser YAG sont orientés suivant la direction [111].

[0055] En effet, dans le cas notamment de plaques microlasers fabriquées à partir de substrats orientés [111] il apparaît que la direction de polarisation n'est jamais constante sur ces plaques quel que soit le type de pompage.

[0056] Au contraire, sur les plaques comprenant un substrat en matériau actif laser YAG orienté [100], selon l'invention, le faisceau peut être polarisé selon deux directions perpendiculaires privilégiées. Sur une telle plaque, selon l'invention, la direction de polarisation du faisceau laser est constante quel que soit la nature de la source de pompage.

[0057] Ainsi, si le pompage est fait avec une source non-polarisée la direction de polarisation du faisceau laser émis est constante, tandis que si le pompage est fait avec une source polarisée, la direction de polarisation du faisceau laser émis est également constante et selon l'une des deux directions privilégiées.

[0058] Le choix de l'une de ces directions dépend de la direction de polarisation du faisceau de pompe.

[0059] Dans tous les cas, la cavité laser selon l'invention, du fait de son orientation spécifique [100] présente une direction de polarisation constante et connue à l'avance pour des conditions de pompage données.

[0060] Selon l'invention, le faisceau du laser tel qu'un microlaser est obtenu directement polarisé, sans qu'aucune autre opération ou montage ne soit nécessaire, du seul fait du choix de l'orientation spécifique [100].

[0061] De ce fait, les cavités lasers selon l'invention peuvent être facilement fabriquées par un procédé de fabrication collective connu et éprouvé.

[0062] Le substrat est selon l'invention un substrat en matériau actif laser $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG) dopé ou non qui est orienté [100].

[0063] Le substrat et la couche monocristalline d'absorbant saturable, également orientée [100] sont donc de même structure cristallographique mais il est souvent nécessaire d'ajuster les paramètres de maille du substrat et/ou de la couche monocristalline. Cet ajustement se fait généralement à l'aide des dopants adéquates décrits plus loin dans le cadre de la description détaillée de la couche monocristalline, lesdits dopants étant éventuellement ajoutés dans le bain d'épitaxie sous la forme d'oxyde(s).

[0064] Autrement dit, le substrat et la couche, qui comme on l'a déjà indiqué, sont de même structure au point de vue cristallographique, ne se différencient que par leurs différents dopants qui affectent par exemple les propriétés cristallines et/ou optiques de la couche et/ou du substrat, de préférence de la couche.

[0065] Selon l'invention, le substrat est un matériau actif laser YAG c'est-à-dire qu'il est dopé ou non, par un ou plusieurs ion(s) lui conférant des propriétés de matériau actif laser et choisi(s) par exemple parmi les ions Nd, Cr, Er, Yb, Ho, Tm, et Ce.

[0066] Notons au passage que la plupart des ions utilisés pour conférer au YAG des propriétés de matériau actif laser peuvent être ainsi utilisées pour rendre le YAG amplificateur.

[0067] Ainsi le YAG peut être dopé avec des ions actifs Nd (néodyme) ou Yb (Ytterbium) pour une émission autour de 1,06 μm , avec des ions actifs Er (Erbium) pour une émission autour de 1,5 μm , avec des ions actifs Ho (Holmium) ou Tm (Thullium) pour une émission à 2 μm , le YAG peut également être codopé par des ions Er et Yb (Erbium-Ytterbium) pour une émission à 1,5 μm , par des ions Tm et Ho (Thullium et Holmium) pour une émission à 2 μm , ou par des ions Er, Yb, et Ce (Erbium, Ytterbium et Cérium) pour une émission à 1,5 μm .

[0068] De préférence, le YAG est dopé au néodyme, ce matériau est le matériau laser solide le plus connu et le plus utilisé actuellement.

[0069] La proportion du ou des ions dopant(s) est généralement (en mole) de 0,1 à 10% pour chacun d'entre eux.

[0070] Selon une caractéristique fondamentale de l'invention, le substrat en matériau actif laser est spécifiquement orienté [100]. Pour obtenir une telle orientation on peut soit orienter un cristal tiré suivant la direction traditionnelle [111], soit tirer directement un cristal suivant l'orientation [100], ce qui est possible moyennant quelques adaptations des conditions de croissance.

[0071] La dimension et la forme du substrat, comme cela est décrit plus loin, sont variables. L'un des avantages de la technique d'épitaixie en phase liquide est précisément qu'elle permet de réaliser des couches d'excellente qualité, quelle que soit la forme, même complexe et la taille du substrat.

[0072] Le substrat peut être constitué soit d'un barreau laser classique, soit avantageusement selon l'invention d'un substrat microlaser qui est constitué d'une lame monocristalline d'une épaisseur par exemple de 500 μm à 2 mm de préférence de 0,1 mm à 2 mm. De préférence cette lame est polie avec ses deux faces parallèles.

[0073] La couche monocristalline de matériau absorbant saturable en YAG, selon l'invention, présente une structure spécifique qui permet de garder la faisabilité d'un dispositif compact et d'une fabrication collective à bas coût.

[0074] Cette structure ne remet pas en cause les propriétés du matériau, mais au contraire permet de les améliorer par utilisation des phénomènes d'ondes guidées dans certains cas.

[0075] Les couches monocristallines de matériau absorbant saturable selon l'invention présentent, en outre, tous les avantages inhérents au procédé de croissance

par épitaixie en phase liquide (EPL) par lequel elles sont obtenues ou susceptibles d'être obtenues. Ces avantages sont développés de manière plus approfondie dans le document de l'art antérieur cité ci-dessus.

[0076] En particulier, il est possible, par ce procédé d'EPL, d'obtenir, des dopages homogènes, par exemple en chrome, terres rares, en métaux de transition, ou en gallium.

[0077] Ce paramètre d'homogénéité est un paramètre essentiel lorsque l'on veut optimiser les performances optiques d'un dispositif.

[0078] Dans la technique d'épitaixie en phase liquide, selon l'invention, les couches sont réalisées à température constante dans la gamme définie plus loin et présentent, de ce fait, une bonne homogénéité de composition en volume.

[0079] Seuls l'interface et la surface de la couche peuvent être éventuellement perturbés, mais alors un léger polissage de la surface permet de s'affranchir de ce défaut.

[0080] De plus, l'épitaixie permet d'accéder à des concentrations en dopant beaucoup plus élevées que les procédés classiques de croissance de cristaux massifs, ce qui permet d'utiliser des couches de très faible épaisseur avec les avantages qui en découlent.

[0081] L'épitaixie en phase liquide offre, par ailleurs, la possibilité de réaliser des codopages par différents ions, en effet, il est souvent nécessaire d'utiliser plusieurs substitutions pour optimiser les propriétés de la couche épitaixiée, telles que le paramètre de maille, l'indice de réfraction, l'absorption etc...

[0082] Par la technique d'épitaixie en phase liquide, il est possible de préparer des couches de compositions complexes à plusieurs cations.

[0083] La technique d'épitaixie en phase liquide permet un contrôle aisé de l'épaisseur de la couche déposée, celle-ci a, généralement, une épaisseur de 1 à 500 μm , de préférence de 1 à 200 μm , de préférence encore de 20 à 150 μm , mieux de 50 à 100 μm .

[0084] On parlera de « couches minces » pour des épaisseurs généralement de 1 à 150 μm , de préférence de 1 à 100 μm .

[0085] la vitesse de croissance étant généralement de l'ordre de 1 $\mu\text{m}/\text{mn}$; on peut relativement rapidement, c'est-à-dire en l'espace de quelques heures, préparer des couches ayant une épaisseur de 100 μm .

[0086] Par couche monocristalline de matériau absorbant saturable en YAG dopé on entend un YAG ayant au moins une substitution par un ion lui conférant des propriétés d'absorbant saturable.

[0087] Ainsi le YAG peut-il être dopé par un ou plusieurs ions dopants choisi(s) parmi les ions Chrome (Cr), Erbium (Er), Thullium (Tm) et Holmium (Ho).

[0088] De préférence, ledit ion dopant est le chrome Cr^{4+} .

[0089] La proportion du ou des dopant(s) conférant au YAG ses propriétés d'absorbants saturable est généralement (en mole) de quelques %, par exemple de

1 à 10 % pour chacun des dopants.

[0090] Par ailleurs le YAG est généralement tout d'abord substitué par des ions Mg^{2+} de sorte que la substitution avec les ions actifs tels que les ions Cr^{4+} peut s'opérer sans compensation de charge.

[0091] C'est-à-dire que dans ce cas le YAG contient en définitive dans la couche autant de moles de Mg^{2+} que de moles de dopant en particulier de Cr^{4+} .

[0092] De même que l'épaisseur, le taux de dopage et la nature du dopant de la couche d'absorbant saturable sont adaptés au laser que l'on veut déclencher afin que la couche monocristalline d'absorbant saturable présente une absorption saturable convenable à la longueur d'onde d'émission du laser.

[0093] Par exemple, on choisira du Cr^{4+} pour un laser émettant à 1,06 μm , du Er^{3+} pour un laser émettant à 1,5 μm ou encore du Thulium (Tm) ou de l'Holmium (Ho) pour un laser émettant à 2 μm .

[0094] De ce fait, à un ion actif laser du matériau actif laser correspondra préférentiellement un ion actif de la couche d'absorbant saturable.

[0095] Les couples suivants ion actif laser - ion absorbant saturable conviennent bien : Nd-Cr, Er-Er, Tm-Ho, Yb-Cr.

[0096] Selon l'invention le couple Nd-Cr est particulièrement préféré.

[0097] La couche monocristalline de matériau absorbant saturable orientée [100], ou le substrat, de préférence la couche, peuvent également comprendre (en outre) au moins un (autre) dopant ou substituant afin d'en modifier l'une ou l'autre de leurs propriétés, par exemple structurales et/ou optiques, telles que l'absorption, l'indice de réfraction et/ou le paramètre de maille.

[0098] Ces dopants sont choisis par exemple parmi le gallium et les terres rares non actives, telles que le lutécium, le gadolinium, l'yttrium ; par terres rares non actives on entend généralement des terres rares qui ne communiquent pas des propriétés telles que des propriétés d'émetteur laser, d'amplificateur ou d'AS au YAG.

[0099] On pourra ainsi en outre réaliser un codopage des couches avec du Gallium (Ga) et/ou une terre rare non active telle que l'yttrium (Y), et/ou le lutécium (Lu) et/ou le gadolinium.

[0100] Un codopage supplémentaire préféré est un codopage Gallium-Lutécium, dans lequel le gallium sert à adapter l'indice, le gallium élargissant par ailleurs la maille du réseau cristallin, cet élargissement est compensé par du Lutécium.

[0101] De manière classique la cavité laser comprend en outre un miroir d'entrée et un miroir de sortie. De préférence ces miroirs sont des miroirs dichroïques.

[0102] Le miroir d'entrée est déposée directement sur le substrat en matériau actif laser et le miroir de sortie est déposé directement sur la couche monocristalline de matériau absorbant saturable.

[0103] La cavité laser selon l'invention peut prendre plusieurs formes chacune correspondant à la forme que

peut prendre le substrat en matériau actif laser, on pourra de nouveau à ce propos se reporter au document FR-A-2 712 743.

[0104] Ainsi dans le substrat peut-il être un barreau laser ; mais, de préférence, selon l'invention le substrat est un substrat microlaser constitué d'une lame monocristalline, de préférence une lame à faces parallèles polie sur ses deux faces.

[0105] L'invention concerne également un procédé de fabrication collective de cavités microlasers déclenchées à polarisation contrôlée.

[0106] Ce procédé est sensiblement identique au procédé classique connu de fabrication de microlasers mais il s'en différencie fondamentalement par l'orientation spécifique [100] du substrat en matériau actif laser et de la couche monocristalline de matériau absorbant saturable.

[0107] Ce procédé comprend généralement donc les étapes suivantes :

- on fournit un substrat en matériau actif laser $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG) dopé ou non, orienté [100] sous la forme d'une lame à faces parallèles polie sur ses deux faces ;
- on dépose sur l'une des faces dudit matériau actif laser $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG), une couche monocristalline de matériau absorbant saturable en YAG dopé, par épitaxie en phase liquide ou par un procédé analogue ;
- on polit la couche monocristalline d'absorbant saturable ainsi déposée ;
- on dépose les miroirs d'entrée et de sortie sur les deux faces polies de la cavité ;
- on découpe l'ensemble substrat-couche monocristalline-miroirs ainsi obtenu.

[0108] On obtient ainsi un grand nombre de cavités microlasers (ou microlasers) déclenchées, tous ces microlasers présentent des caractéristiques de polarisation connues et identiques ce qui diminue de ce fait fortement leur coût.

[0109] L'invention concerne enfin un laser de préférence un microlaser déclenché à polarisation contrôlée comprenant une cavité telle que décrite ci-dessus de préférence une cavité microlaser ainsi que des moyens de pompage de celle-ci.

[0110] De préférence ces moyens de pompage consistent en au moins une lampe ou une diode qui pompe la cavité selon une direction transversale ou longitudinale.

[0111] Le procédé selon l'invention du fait, de nouveau de l'orientation spécifique [1,0,0] du substrat et de la couche monocristalline, permet de fabriquer collectivement des microlasers ayant une direction de polarisation connue, ce qui n'avait jamais été réalisé dans l'art antérieur. En effet, le faisceau du microlaser est obtenu directement polarisé sans aucune autre opération ou montage ce qui est compatible avec un procédé de fa-

brication collective.

[0112] Par ailleurs, les performances du microlaser obtenues ne sont absolument pas dégradées, par rapport aux microlasers préparés avec des substrats et couches d'AS classiques orientés [111]. Ce maintien des performances malgré le choix inattendu d'une orientation différente constitue l'un des effets et avantages inattendus de l'invention.

[0113] Les performances n'étant pas dégradées permettent de ce fait l'utilisation du microlaser selon l'invention dans de nombreuses applications telles que le doublage de fréquence. Il n'est pas nécessaire de tester individuellement chaque microlaser ou d'utiliser un moyen externe pour déterminer la direction de polarisation puisque tous les microlasers ont des caractéristiques de polarisation connues et identiques.

[0114] Outre, la réalisation en particulier de microlasers verts impulsionnels de façon collective, l'invention trouve son application de manière générale dans tous les domaines de l'optique non linéaire et dans tous les cas où un faisceau impulsif polarisé linéairement est nécessaire, comme par exemple le doublage de fréquence, la conversion de fréquence tels que le triplage, le quadruplage etc..., et l'oscillation paramétrique optique (OPO).

[0115] Les caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront mieux à la lecture de la description qui va suivre donnée à titre purement illustratif et non limitatif.

[0116] Ainsi, de manière plus précise, le procédé de l'invention comprend tout d'abord, généralement, une première étape de choix et de préparation du substrat.

[0117] Comme mentionné plus haut, le substrat peut être tout substrat sur lequel peut être déposé une couche par exemple une couche mince de YAG, par la technique d'épitaxie en phase liquide, à la condition essentielle dans l'invention, que le matériau dudit substrat soit orienté [100].

[0118] Ces substrats ont déjà été pour la plupart décrits ci-dessus.

[0119] Le type de laser à réaliser détermine l'ion ou les ions dopant(s) de la couche de YAG déposé, ainsi que le type de YAG utilisé pour le substrat.

[0120] Le mode de fonctionnement de ce laser détermine si le substrat doit être constitué d'un matériau actif laser ou non, ainsi que sa forme et ses dimensions.

[0121] La dimension et la forme du substrat sont variables, l'un des avantages de la technique d'épitaxie en phase liquide est précisément qu'elle permet de réaliser des couches d'excellente qualité, quelle que soit la forme, même complexe, et la taille du substrat.

[0122] Le substrat peut, par exemple, être préparé à partir d'un lingot de YAG dopé ou non, d'un diamètre, par exemple, de 1" à 2" (inches), c'est-à-dire environ 25 à 50 mm, orienté [100].

[0123] Pour obtenir une telle orientation au substrat, on peut, soit orienter un cristal tiré suivant la direction traditionnelle [111], soit tirer directement un cristal sui-

vant l'orientation [100] ce qui est possible moyennant quelques adaptations des conditions de croissance : diminution de la vitesse de tirage, augmentation du temps de refroidissement.

5 [0124] Quel que soit le mode de fabrication des cristaux orientés [100] ils peuvent de toute façon être facilement obtenus sur le marché.

10 [0125] On découpe à partir de ce lingot des substrats, par exemple en forme de lames à faces parallèles à l'aide d'un instrument de coupe adéquate, par exemple à l'aide d'une scie à lame diamantée. Ces substrats en forme de lame peuvent avoir une épaisseur variable par exemple de 500 μm à 2 mm.

15 [0126] On procède ensuite au rodage et au polissage d'au moins une des faces du substrat. Le rodage a pour rôle :

- d'une part, d'enlever la couche d'écrouissage superficielle due à la découpe ;
- 20 - d'autre part, éventuellement, de ramener l'épaisseur des lames à l'épaisseur voulue, par exemple dans le cas d'une application laser, cette épaisseur est légèrement supérieure à la spécification du microlaser et est généralement de 100 à 1000 μm .

25 [0127] En effet, l'épaisseur du milieu actif est un paramètre qui conditionne certaines caractéristiques du microlaser, telles que la largeur du spectre et le nombre de modes longitudinaux, notamment.

30 [0128] Les substrats, par exemple les lames rodées et, éventuellement, rapprochées de l'épaisseur voulue, sont ensuite polis avec une qualité optique.

35 [0129] Le polissage concerne au moins une des faces du substrat, mais pour certains types de fonctionnement, par exemple pour un laser guide d'ondes, le substrat peut présenter deux faces parallèles ayant cette qualité de poli.

[0130] On parle ainsi de substrat à une face polie, ou à deux faces polies.

40 [0131] Le polissage est réalisé par un procédé mécano-chimique afin que la ou les faces polie(s) soi(ent) exempte(s) de tout défaut (inclusion, dislocation, contrainte, rayure, etc.) qui se propagerait dans l'épaisseur de la couche lors de l'épitaxie. Cette qualité de polissage est contrôlée par une attaque chimique appropriée. Le procédé à mettre en oeuvre est sensiblement identique à celui mis au point pour les substrats utilisés dans les techniques classiques d'épitaxie.

50 [0132] Suite à la première étape, de choix et de préparation du substrat, on procède ensuite dans une deuxième étape à la préparation du bain d'épitaxie qui est une solution sursaturée formée d'un solvant et d'un soluté.

55 [0133] Selon l'invention, le bain d'épitaxie est préparé, tout d'abord, en pesant soigneusement un mélange des oxydes PbO - B_2O_3 - le mélange de ces deux oxydes formant le solvant - Y_2O_3 et Al_2O_3 qui forment le soluté.

[0134] Le ou les différent(s) dopant(s) est(sont) également, éventuellement, ajouté(s) sous forme d'oxyde(s), par exemple CrO_2 et MgO , il est également parfois nécessaire, pour réaliser la compensation de charges éventuelle, d'ajouter un ou plusieurs autres oxydes tels que les oxydes des éléments cités plus haut.

[0135] La concentration en moles % des différents oxydes dans le bain d'épitaxie pour la préparation de YAG non dopé est en mole %, par exemple, de 0,5 à 0,7 mole % de Y_2O_3 , de 1,5 à 2,5 mole % de Al_2O_3 , de 80 à 90 mole % de PbO , et de 5 à 10 mole % de B_2O_3 .

[0136] Le ou les oxydes du ou des dopant(s) lorsqu'il(s) est(sont) présent(s) est(sont) dans les proportions indiquées ci-dessus pour chacun d'entre eux c'est-à-dire par exemple 0,5 à 2,0 mole % de CrO_2 et 0,5 à 2,0 mole % de MgO .

[0137] Un mélange typique est, à titre d'exemple, constitué de 14 g de Y_2O_3 , 15 g de Al_2O_3 , 6 g de MgO , 23 g de CrO_2 , 1700 g de PbO et 45 g de B_2O_3 .

[0138] Le mélange soluté, par exemple dans un creuset en platine à une température, par exemple, de 900 à 1100°C, par exemple d'environ 1000°C pour former le bain d'épitaxie proprement dit. Le dispositif, tel qu'un creuset, est ensuite placé dans un dispositif classique permettant de réaliser une croissance cristalline par épitaxie en phase liquide.

[0139] Ce dispositif est, par exemple, un four d'épitaxie qui est, en particulier, un four à deux zones de chauffe, à gradient de température contrôlé.

[0140] De préférence, le substrat est animé d'un mouvement de rotation ou de translation uniforme, ou alternativement permettant un dépôt d'une épaisseur homogène.

[0141] De même, le bain d'épitaxie peut être agité mécaniquement à l'aide d'un dispositif adéquat, tel qu'un agitateur en platine.

[0142] Une broche supportant l'agitateur, ou l'ensemble porte substrat-substrat permet de communiquer les mouvements voulus à l'un ou l'autre.

[0143] La troisième étape du procédé est l'étape d'épitaxie proprement dite.

[0144] Selon l'invention, l'opération d'épitaxie en phase liquide est réalisée à une température constante dans la plage de 1000°C à 1100°C, ce qui permet d'obtenir une concentration en dopant homogène dans l'épaisseur de la couche de YAG.

[0145] On commence, par exemple, à agiter mécaniquement le mélange liquide à une température légèrement supérieure à la température de croissance épitaxiale, par exemple, à environ 1150°C à l'aide du dispositif d'agitation déjà décrit plus haut, tel qu'un agitateur en platine. On abaisse ensuite la température du four jusqu'à la température de trempe qui est, de préférence, encore de 1000 à 1100°C.

[0146] Le substrat, par exemple positionné horizontalement est ensuite mis en contact avec le bain d'épitaxie, les substrats à une face polie sont trempés en surface du bain alors que les substrats à deux faces polies

sont immergés dans ce bain.

[0147] La durée de la mise en contact dépend de l'épaisseur désirée, cette épaisseur pouvant varier dans les plages déjà citées plus haut, c'est-à-dire de 1 à 500 μm , par exemple 100 μm . Les vitesses de croissance sont généralement de l'ordre de 0,5 (???) à 1 $\mu\text{m}/\text{mn}$ (???)

[0148] Selon l'invention et afin de tenir compte de la différence de comportement entre les substrats orientés [100] mis en oeuvre dans l'invention, une adaptation des conditions de croissance est nécessaire car l'orientation [100] entraîne d'une part une augmentation de la vitesse de croissance et d'autre part une fragilité accrue des substrats, la durée de la trempe ou durée de mise en contact est légèrement diminuée dans le procédé de l'invention et sera donc généralement diminué d'environ 1/4 de temps par rapport aux substrats orientés [111]

[0149] Par ailleurs et de nouveau pour prendre en considération la différence de comportement entre les substrats orientés [111] et [100] les phases de refroidissement sont particulièrement contrôlées pour diminuer au maximum les chocs thermiques : remontée lente du substrat hors du four à une vitesse de 10 mm par minute au lieu de 50 mm par minute.

[0150] A la sortie du bain d'épitaxie, le substrat et la (pour un substrat à une face) ou les couche(s) épitaxiées (s) (pour un substrat à deux faces, avec une couche épitaxiée sur chaque face) subissent une opération destinée à éliminer le solvant. Par exemple, le substrat revêtu est soumis à un mouvement de rotation accélérée pour éjecter les restes de solvant.

[0151] Un nettoyage chimique, au moyen par exemple d'un acide tel que HNO_3 termine l'étape d'épitaxie.

[0152] Les étapes suivantes sont des étapes classiques analogues à celles mises en oeuvre pour la réalisation des microlasers orientés [1,1,1].

[0153] On effectue un polissage de la couche d'absorbant saturable afin notamment d'ajuster ses propriétés d'absorption. Ce polissage est généralement réalisé par attaque chimique par exemple dans de l'acide phosphorique ou par polissage mécanochimique.

[0154] On dépose ensuite directement les miroirs d'entrée et de sortie de la cavité laser et l'on découpe l'ensemble formé par le substrat en forme de lame, la couche monocristalline de matériau absorbant saturable, et les miroirs, en un grand nombre de cavités microlasers sous la forme par exemple de parallélépipèdes généralement de 1 mm x 1 mm donc chacun constituant une cavité microlaser déclenché, à polarisation parfaitement contrôlée.

[0155] Il a été constaté que les performances des microlasers obtenus telles que l'énergie de la pulsation laser, sa durée, et sa fréquence de répétition, ne sont pas dégradées.

Revendications

1. Cavité laser à polarisation contrôlée comprenant un substrat en matériau actif laser $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG) dopé ou non, sur lequel est déposé directement par épitaxie en phase liquide ou par un procédé analogue, une couche monocristalline de matériau absorbant saturable en YAG dopé, dans laquelle ledit matériau actif laser est orienté [100], et ladite couche monocristalline de matériau absorbant saturable est déposée suivant la même orientation [100].
2. Cavité laser selon la revendication 1 dans laquelle ladite couche monocristalline de matériau absorbant saturable dopé est obtenue par épitaxie en phase liquide (EPL).
3. Cavité selon l'une quelconque des revendications 1 et 2 dans laquelle le substrat est un matériau actif laser YAG dopé par un ou plusieurs ion(s) dopant(s) lui conférant des propriétés de matériau actif laser choisis parmi les ions Nd, Cr, Er, Yb, Ho, Tm, et Ce.
4. Cavité selon la revendication 3 dans laquelle ledit ion dopant est le Néodyme (Nd).
5. Cavité selon l'une quelconque des revendications 3 à 4 dans laquelle la proportion du ou des ion(s) dopant(s) est de 0,1 à 10 mole % pour chacun d'entre eux.
6. Cavité laser selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 dans laquelle la couche monocristalline de matériau absorbant saturable est en YAG dopé par un ou plusieurs ion(s) dopant(s) choisis parmi les ions Chrome (Cr), Erbium (Er), Thulium (Tm) et Holmium (Ho).
7. Cavité laser selon la revendication 6 dans laquelle ledit ion dopant est le chrome.
8. Cavité selon l'une quelconque des revendications 6 et 7 dans laquelle la proportion du ou des ion(s) dopant(s) est de 1 à 10 mole % pour chacun d'entre eux.
9. Cavité selon l'une quelconque des revendications 1 à 8 dans laquelle la couche et/ou le substrat sont (en outre) dopé(s) par au moins un (autre) dopant ou substituant permettant de modifier leurs propriétés structurales et/ou optiques.
10. Cavité selon la revendication 9 dans laquelle ledit (autre) dopant est choisi parmi le gallium et les terres rares non actives.
11. Cavité selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 dans laquelle la couche monocristalline de matériau absorbant saturable a une épaisseur de 1 à 500 μm .
12. Cavité selon la revendication 10 dans laquelle ladite couche monocristalline de matériau absorbant saturable est une couche mince d'une épaisseur de 1 à 150 μm .
13. Cavité laser selon l'une quelconque des revendications 1 à 12 qui comprend en outre un miroir d'entrée et un miroir de sortie, ledit miroir d'entrée étant déposé directement sur le substrat en matériau actif laser.
14. Cavité laser selon la revendication 12 dans laquelle le miroir de sortie est déposé directement sur la couche monocristalline de matériau absorbant saturable.
15. Procédé de fabrication collective de cavités micro-lasers déclenchées à polarisation contrôlée comprenant les étapes suivantes :
 - on fournit un substrat en matériau actif laser $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG) dopé ou non, orienté [100] sous la forme d'une lame à faces parallèles polie sur ses deux faces;
 - on dépose sur l'une des faces dudit matériau actif laser $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG), une couche monocristalline de matériau absorbant saturable en YAG dopé suivant la même orientation [100], par épitaxie en phase liquide ou par un procédé analogue ;
 - on polit la couche monocristalline d'absorbant saturable ainsi déposée ;
 - on dépose les miroirs d'entrée et de sortie sur les deux faces polies de la cavité ;
 - on découpe l'ensemble substrat-couche monocristalline-miroirs ainsi obtenu.
16. Laser déclenché à polarisation contrôlée comprenant une cavité selon l'une quelconque des revendications 1 à 14 ainsi que des moyens de pompage de cette cavité.

Patentansprüche

1. Laserresonator mit gesteuerter Polarisation, ein Substrat aus aktivem Lasermaterial $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG) umfassend, dotiert oder nichtdotiert, auf dem durch Flüssigphasen-Epitaxie oder ein analoges Verfahren eine monokristalline Schicht aus dotiertem sättigbarem YAG-Absorptionsmaterial direkt abgeschieden ist, bei dem das genannte aktive Lasermaterial die Orientierung [100] aufweist und die genannte monokristalline Schicht aus sättigbarem

Absorptionsmaterial entsprechend derselben Orientierung [100] abgeschieden ist.

2. Laserresonator nach Anspruch 1, bei dem die genannte monokristalline Schicht aus dotiertem sättigbarem Absorptionsmaterial mittels Flüssigphasen-Epitaxie hergestellt ist.
3. Resonator nach einem der Ansprüche 1 und 2, bei dem das Substrat ein aktives YAG-Lasermaterial ist, dotiert mit einem oder mehreren ihm die Eigenschaften eines aktiven Lasermaterials verleihenden Dotierion(en), ausgewählt unter den Nd-, Cr-, Er-, Yb-, Ho-, Tm- und Ce-Ionen.
4. Resonator nach Anspruch 3, bei dem das genannte Dotierion Neodym (Nd) ist.
5. Resonator nach einem der Ansprüche 3 bis 4, bei dem der Anteil des Dotierions oder der Dotierionen 0,1 bis 10 Mol% für jedes von ihnen beträgt.
6. Laserresonator nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem die monokristalline Schicht aus sättigbarem, mit einem oder mehreren unter den Ionen des Chroms (Cr), Erbiums (Er), Thulliums (Tm) und Holmiums (Ho) ausgewählten Dotierionen dotierten YAG-Absorptionsmaterial ist.
7. Laserresonator nach Anspruch 6, bei dem das genannte Dotierion Chrom ist.
8. Resonator nach einem der Ansprüche 6 und 7, bei dem der Anteil des Dotierions oder der Dotierionen 1 bis 10 Mol% für jedes von ihnen beträgt.
9. Resonator nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem die Schicht und/oder das Substrat (außerdem) durch wenigstens einen (anderen bzw. weiteren) Dotierstoff oder Substituenten dotiert werden, der ermöglicht, ihre strukturellen oder optischen Eigenschaften zu modifizieren.
10. Resonator nach Anspruch 9, bei dem der genannte (andere) Dotierstoff ausgewählt wird unter Gallium und den nichtaktiven Seltenerdmetallen.
11. Resonator nach einem der Ansprüche 1 bis 10, bei dem die monokristalline Schicht aus sättigbarem Absorptionsmaterial eine Dicke von 1 bis 500 μm hat.
12. Resonator nach Anspruch 10, bei dem die genannte monokristalline Schicht aus sättigbarem Absorptionsmaterial eine Dicke von 1 bis 150 μm hat.
13. Laserresonator nach einem der Ansprüche 1 bis 12, der außerdem einen Eingangsspiegel und einen

Ausgangsspiegel umfasst, wobei der Eingangsspiegel direkt auf dem Substrat aus aktivem Lasermaterial abgeschieden ist.

- 5 14. Laserresonator nach Anspruch 12, bei dem der Ausgangsspiegel direkt auf der monokristallinen Schicht aus sättigbarem Absorptionsmaterial abgeschieden ist.
- 10 15. Verfahren zur Kollektiv- bzw. Sammelherstellung von gütegeschalteten Mikrolaserresonatoren mit geregelter Polarisierung, das die folgenden Schritte umfasst:
 - 15 - man stellt ein Substrat aus dotiertem oder nichtdotiertem aktivem Material $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (YAG) der Orientierung [100] bereit, das die Form eines Plättchens mit parallelen Flächen bzw. Seiten aufweist und dessen beiden Flächen bzw. Seiten poliert sind;
 - 20 - man scheidet durch Flüssigphasen-Epitaxie oder ein analoges Verfahren auf einer der Flächen des genannten aktiven Lasermaterials $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (YAG) eine monokristalline Schicht aus dotiertem sättigbarem YAG-Absorptionsmaterial ab, entsprechend derselben Orientierung [100];
 - 25 - man poliert die derart abgeschiedene monokristalline Schicht aus sättigbarem Absorptionsmaterial;
 - 30 - man scheidet den Eingangs- und Ausgangsspiegel auf den beiden polierten Flächen des Resonators ab;
 - 35 - man zerschneidet das derart hergestellte, durch das Substrat, die monokristalline Schicht und die Spiegel gebildete Ganze.
- 40 16. Gütegeschalteter Laser mit gesteuerter Polarisierung, einen Resonator nach einem der Ansprüche 1 bis 14 sowie Pumpeinrichtungen dieses Resonators umfassend.

Claims

1. Laser cavity with controlled polarization containing a substrate made of a doped or undoped active laser material $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (YAG) on which a monocrystalline layer of saturable absorbent material made of doped YAG is deposited directly by liquid phase epitaxy or by a similar process, in which the said active laser material has a [100] orientation, and the said monocrystalline layer of saturable absorbent material is deposited with the same [100] orientation.
2. Laser cavity according to claim 1, in which the said monocrystalline layer of doped saturable absorbent

material is obtained by liquid phase epitaxy (LPE).

3. Laser cavity according to either of claims 1 or 2, in which the substrate is a YAG active laser material, doped by one or several doping ion(s) that confer active laser material properties on it, and for example chosen among the Nd, Cr, Er, Yb, Ho, Tm, and Ce ions. 5
4. Cavity according to claim 3, in which the doping ion is neodymium (Nd). 10
5. Cavity according to either of claims 3 or 4, in which the proportion of the doping ion(s) is 0.1 to 10 moles % for each ion. 15
6. Laser cavity according to any one of claims 1 to 5 in which the monocrystalline layer of a saturable absorbent material is a YAG doped with one or several doping ions chosen among Chromium (Cr), Erbium (Er), Thulium (Tm), and Holmium (Ho) ions. 20
7. Laser cavity according to claim 6, in which the said doping ion is Chromium. 25
8. Laser cavity according to either of claims 6 or 7, in which the proportion of the doping ion(s) is 1 to 10 moles % for each doping ion.
9. Cavity according to any one of claims 1 to 8 in which the layer and/or the substrate are (also) doped with at least one (other) doping agent or substitute in order to modify their structural and/or optical properties. 30
10. Cavity according to claim 9, in which the said (other) doping ion is chosen among gallium and inactive rare earths. 35
11. Cavity according to any one of claims 1 to 10, in which the thickness of the monocrystalline layer of saturable absorbent material is between 1 and 500 μm . 40
12. Cavity according to claim 10, in which the said monocrystalline layer of saturable absorbent material is a thin layer with a thickness of between 1 and 150 μm . 45
13. Laser cavity according to any one of claims 1 to 12, which also comprises an entry mirror and an exit mirror, the said entry mirror being directly deposited on the substrate made of an active laser material. 50
14. Laser cavity according to claim 12, in which the exit mirror is directly deposited on the monocrystalline layer made of a saturable absorbent material. 55

15. Process for the collective manufacture of triggered microlaser cavities with controlled polarization comprising the following steps:

- a substrate made of a doped or undoped $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (YAG) active laser material with a [100] orientation is supplied in the shape of a sheet with parallel faces polished on its two faces;
 - a monocrystalline layer of doped YAG saturable absorbent material is deposited on one of the faces of the said $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (YAG) active laser material in accordance with the same [100] orientation, by liquid phase epitaxy or by a similar process;
 - the saturable absorbent monocrystalline layer thus deposited is polished;
 - the entry and exit mirrors are deposited on the two polished faces of the cavity;
 - the substrate-monocrystalline layer- mirrors complex thus obtained is cut out.
16. Triggered laser with controlled polarization comprising a cavity like the cavity according to any one of claims 1 to 14, and pumping means for this cavity.

EUROPEAN
PATENT
SPECIFICATION
(TRANSLATION
FROM FRENCH)

1042847

, October 11, 2000 ,
Issue No.: 200041

PASSIVE Q-SWITCHED MICROLASER
WITH CONTROLLED POLARISATION

The present invention features a laser cavity passively triggered by a saturable absorber and has controlled polarization, and has a laser in particular a microlaser including the aforementioned cavities and of the means of pumping of this cavity. The invention also relates to a procedure of manufacturing the aforesaid microlaser. The field of the invention can in a very general way be defined as being that of the triggered lasers and in particular triggered microlasers pumped by diode which are developed very intensely today. One of the advantages of the microlaser resides in its structure in a stacking the multi-layer ones. The active medium laser constitutes a material of low thickness for example, between 150-1000 μm and low-size (a few mm^2), on which mirrors dielectric of cavities are directly deposited. This active medium can be pumped by a III-V laser diode which is either directly hybridee on the microlaser, or coupled thereto by optical fibre. The possibility of a collective manufacture using the means of micro-electronics allows a mass production of these microlasers at very low cost.

The microlasers have many applications, in fields as vary as car industry, environment, scientific instrumentation, the telemetrie, etc...

The known microlasers have, in general, a continuous emission of a few tens of MW of power. However, the majority of the cited applications above, peak powers (instantaneous power) of a few kw delivered during 10^{-8} to 10^{-9} seconds, with an average power of a few tens of MW.

In the solid lasers, one can obtain such high peak powers peaks by making them function in a pulsed

mode with frequencies varying between 10 and 10^4 Hz. For that, one uses well-known triggering procedures, for example by "Q switch".

In a more precise way, a triggered cavity laser consists has to add in this one of the variable losses in the time which goes empecher the laser effect during a certain time, during which the energy of pumping is stockee in the level excites material has profit. These losses are abruptly decreased, at precise moments, thus releasing the energy stored in a very short time ("giant pulses" or impulsion geante). One thus reaches a high peak power.

In the case of triggering known as active, the value of the losses is controlled in an external way by the user (example: mirror of cavity turning, acousto-optics or electro-optical intracavite changing either the way of the beam, or its state of polarization). The storage period, the moment of opening of the cavity, as well as the rate of repetition can be selected independently. On the other hand, that necessite an electronics adaptee and complicates the laser system.

A triggered microlaser actively is described for example in the document EP-A-724 316.

In the case of triggereing known as a passive, the variable losses are introduced into the cavity in the form of a material (called a Saturable Absorber - S. A. -) which is strongly absorbent (T_{min} transmission) at the laser wavelength, at low density of power, and which becomes practically transparent (T_{max} transmission) when this density passes a certain threshold which one calls intensity of saturation of the S. A.

The enormous advantage of passive triggering is that it requires no control electronics, and that thus the impulses can be generated without external intervention.

For this type of operation, known as "passive triggering", the user can choose, on the one hand, the transmission minimum (T_{min}) of the saturable absorbent, in order to adapt it to pumping available and, on the other hand, cavity it laser, by the intermediaire of the geometrie and the transmission of the mirror of exit. Once these parameters fixed, the system has a point of operation characterise by the duration of the impulses ("pulsate") emitted, the frequency of repetition, and the emitted power, as well as energy by impulse ("pulsates").

The characteristics such as the energy and the duration of the laser impulse dependent of those of the saturable absorbent and the oscillator.

On the other hand, the frequency of repetition of the impulses is directly proportional to the power of the laser diode of pump. The laser beam obtained presents characteristics almost perfect: generally monomode transverse and longitudinal, Gaussian beam limits by diffraction.

The monocrystals use as saturable absorbent (A. S.) must thus present characteristics well precise which is obtained by a control very precise substitutions and thickness of material.

Microlasers, currently fabricated, such as the passively triggered microlasers generally include a medium or solid active material which can be constituted of a selected basic material, for example among $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (YAG), $\text{LaMgAl}_{11}\text{O}_9$ (LMA), YVO_4 , Y_2SiO_5 , YLiF_4 and GdVO_4 doped with an element such as Erbium (Er), Ytterbium (Yb), Neodymium (Nd), Thulium (Tm), Holmium (Ho), or codoped by a mixture of several of these elements, such as Yb, or Tm and Ho.

The microlasers function at various wavelengths according to their substitution, thus their wavelength of emission is around $1.06\text{ }\mu\text{m}$, when the active matter is doped by Nd (3+), around $1.55\text{ }\mu\text{m}$, when it is doped by Er (3+), Yb (3+), and around $2\text{ }\mu\text{m}$, when it is doped by Tm (3+) and Ho (3+).

In addition, of the known saturable absorbent molecules organic persons in charge for absorption contain. These materials, which are present in liquid or plastic form, are very often of bad optical quality, age very quickly and have a bad behaviour with laser flow.

Massive solid materials are also used as saturable absorbents. For example for the lasers emitting around $1\text{ }\mu\text{m}$, whose active matter is constituted YAG with active ions Nd (3+) or Yb (3+), one can use crystals of LiF : F (2) containing centers colour responsible for the behavior of saturable absorbent of material and which have a limited lifespan, or even certain massive crystals additives with Cr (4+) which present a saturable absorption around $1\text{ }\mu\text{m}$.

The massive saturable absorbents present in particular the disadvantage of a concentration in ion

absorbing limit, which necessitates use of a great thickness of material.

To fix the problems posed by the massive saturable absorbents, the document Fr A-2 712 743 describes one laser cavity A solid active medium in which the saturable absorbent is realized in the form of a single-crystal thin layer.

The thin shape of layer in particular makes it possible to minimize the losses has the interior of laser cavity which are due has the massive shape of the traditional saturable absorbent.

Moreover, it is possible to deposit the thin layer on substrates of various forms and dimensions. Lastly, the thin shape of the layer also makes it possible to carry out a saving in space in the interior of the laser cavity.

The thin layer is, in this document, realized of preference by liquid phase epitaxy. Such a deposition technique allows in particular to achieve concentrations in doping agents higher than traditional processes of massive crystal growth, it is a statement procedure such as Czochralski, Bridgman...

It also makes it possible to more easily work out of the single-crystal layers doped by various ions. In addition, liquid phase epitaxy (LPE) is the only traditional procedure which makes it possible to obtain single-crystal layers significant thicknesses superior, for example has $100\text{ }\mu\text{m}$.

This document like the document EP-A-0 653 824, also describes the deposit by liquid phase epitaxy of the thin layer of saturable absorbent, directly on laser active material playing the role of substrate.

For that, it is necessary that the active material is of same structure that saturable material absorbing and that the liquid phase epitaxy of this material is realizable.

To date, only $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (YAG) meets these conditions.

Thus a traditional passively triggered microlaser (or laser chip) is generally constituted laser active material for example in YAG: Nd which is the active medium transmitting light emitting has $1.06\text{ }\mu\text{m}$, on which a layer for example of YAG is epitaxial: Cr (4+) plus or less thick and more or less Cr concentration (4+) according to the performances desired.

The process of manufacture of such a microlaser is described in the patent EP-A-0 653 824 already mentioned.

After epitaxy of YAG: Cr (4+) sur the substrate of YAG: Nd, a stage of polishing makes it possible to obtain a blade having the parallelism, the flatness and the thickness desired.

The mirrors of entree and exit of the laser cavity, formed by a stacking of dielectric layers, are then deposited on the faces of the blade.

The blade is finally decoupee in microlasers elementaires. Several hundreds of microlasers can thus be manufactured in a collective way in only one blade.

It is it should be noted that, in all the cases, transmitting crystal YAG: Nd east directs along the axis [111], which is the axis of normal growth of garnets, and which makes it possible to obtain a maximum laser output.

The epitaxial YAG: Cr (4+) thus has this same orientation, the transmitting crystal in YAG: Nd playing the role of substrate.

This fact and malgre all the advantages that it presente, the procedure of traditional manufacture of microlasers such as it is described above does not make it possible to control the polarization of the beam of the microlasers.

Indeed, the microlasers fabricated in crystals oriented [111] have a direction of polarization which depends generally of the residual constraints engendered by the epitaxy. The direction of polarization is not constant on all the surface of the substrate or blade in which the microlasers have been cut out.

There are however methods to fix the polarization of the microlaser by applying a constraint to one of the lateral faces of the microlaser. But in this case, it is necessary to in advance of making it possible to apply a constraint to each microlaser elementaire, which is incompatible with a process of collective manufacture.

In addition, in the traditional devices, of the massive crystals of YAG: Cr (4+) is used as a saturable absorber are placed in the laser cavity as close as possible to transmitting crystal. In this case their dimensions are about a few millimeter and the

crystals of YAG: Cr (4+) are generally directed along the [100] crystallographic axis. Indeed, the maximum of saturation is obtained when the incident beam is polarized parallel to a crystallographic axis of the crystal. The laser cavities thus obtained never present a laser beam whose polarization can be definie has the advance. There are thus no possibilities of envisaging which will be the polarization of the beam emitted before testing it.

However obtaining a linearly polarized beam is very significant in many applications like nonlinear optics in general and the doubling of frequency in particular.

In the current state of the art, it is not possible to collectively manufacture frequency doubled microlasers. The nonlinear crystal which ensures the conversion of frequency must be turns according to the polarization of the beam of each microlaser, without knowledge a priori of the direction of polarization of the beam.

The inhomogeneite of the polarization of the beam on the substrate does not make it possible to assemble the substrate with a nonlinear material blade and it decouper then collectively to manufacture double microlasers in frequency.

There is thus a not yet satisfied need for one laser cavity presentant a direction of polarization perfectly controled, known, and constant on the whole of the substrate in particular of the blade, playing the role of active laser material.

There is moreover a need for one laser cavity and for a microlaser having a direction of polarization known, and constant, and which can be obtained by a collective tests procedure manufacture without having recourse to other stages, or to use complex assemblies.

The invention is defined by claims 1 and 15.

The goal of the invention is, inter alia, to answer these needs, and to provide a laser cavity and a laser such as a microlaser which do not present the disadvantages, defects and limitations of cavity lasers and of the lasers, in particular, of the microlasers of former art, and which resolve the problems of prior art.

This goal, and others still, are reached, conformément has the invention, by a laser cavity

with controlled polarization including an active material substrate laser $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG) doped or not, on which is deposited directly by liquid phase epitaxy or a similar process, a single-crystal layer of saturable material absorbing in doped YAG, in which the aforementioned laser active material is directed [100], and the aforementioned single-crystal layer of saturable material absorbing is deposited according to the same orientation [100].

According to the the aforementioned invention lay down single-crystal saturable material absorbing in YAG additive is obtained by liquid phase epitaxy (LPE) or by a similar procedure, i.e., by a procedure allowing to obtain a layer having the same characteristics ones that a layer obtained by LPE, such a procedure can be for example a vapor phase deposition procedure in or a laser ablation deposition procedure. One then can, in other words, speak of a layer likely to be obtained by liquid phase epitaxy. From preference however the single-crystal layer of saturable material absorbing is obtained by liquid phase epitaxy. Laser cavity according to the invention in which the active material substrate laser oriented [100] difference basically cavity itself former art in which the active material substrates laser YAG are direct according to the direction [111]. Indeed, in the case in particular of plates microlasers fabriquees from substrates direct [111] it appears that the direction of polarization is never constant on these plates whatever the type of pumping. On the contrary, on the plates including an active material substrate laser YAG directs [100], according to the invention, the beam can be polarized according to two perpendicular directions privilegies. On such a plate, according to the invention, the direction of polarization of the laser beam is constant whatever the nature of the source of pumping. Thus, if pumping is made with a non-polarised source the direction of polarization of the emitted laser beam is constant, while if pumping is made with a polarised source, the direction of polarization of the emitted laser beam is also constant and according to one of the two directions privilegies. The choice of the one of these directions depend of the direction of polarization of the beam of pump.

In all the cases, cavity lasers according to the invention, because of its specific orientation [100] presente a direction of constant polarization and known in advance for given conditions of pumping. According to the invention, the beam of the laser such as a microlaser is obtained directly polarizes, without no other operation or assembly being

necessary, of the only fact of the choice of the specific orientation [100]. So cavity lasers according to the invention can be easily fabricted by a known process of collective manufacture and testing. The substrate is according to the invention a substrate out of active material laser $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG) doped or not which east directs [100]. The substrate and the single-crystal layer of saturable absorbent, also orientee [100] are thus of same crystallographic structure but it is often necessary to adjust the cell parameters of the substrate and/or the single-crystal layer. This adjustment is generally made using the doping agents adequately described further within the framework of the detailed description of the single-crystal layer, the aforementioned doping agents being possibly added in the bath of epitaxy in the oxide form. In other words, the substrate and the layer, which as one has it already indicates, are of same structure from the crystallographic point of view, differentiate themselves only by their various doping agents which affect for example the crystalline proprieties and/or optics of the layer and/or the substrate, of preference of the layer. According to the invention, the substrate is an active material laser YAG it be A-statement which it is additive or not, by one or more ion conferant laser active material proprieties and choisi(s) to him for example among the ions Nd, Cr, er, Yb, Ho, Tm, and It.

Let us note in the passing that the majority of the ions use for conferer with the YAG of the laser active material proprieties can be thus utilized to make the YAG amplifying. Thus the YAG can be additive with active ions Nd (neodimium) or Yb (Ytterbium) for an emission around 1.06 μm , with active ions er (Erbium) for an emission around 1.5 μm , with active ions Ho (Holmium) or Tm (Thullium) for an emission has 2 μm , the YAG can also be codope by ions er and Yb (Erbium Ytterbium) for an emission has 1.5 μm , by ions Tm and Ho (Thullium and Holmium) for an emission 2 μm has, or by ions Er, Yb, and Ce (Erbium, Ytterbium and Cerium) for an emission of 1.5 μm . Of preference, the YAG is additive with the neodimium, this material is the solid laser material more known and more currently used. The proportion of the ions doping agent is generally (in mole) 0.1 to 10% for each one of them. According to characteristic fundamental of the invention, the laser active material substrate is specifically oriented [100]. To obtain such an orientation one can either direct a crystal draws according to the traditional direction [111], or to directly draw a crystal according to the orientation [100], which is possible with the help of some

adaptations of the conditions of growth. The dimension and the form of the substrate, as that is decreit further, are variable. One of the advantages of the technique of liquid phase epitaxy is precisely that it makes it possible to carry out layers of excellent quality, whatever the form, same complex and the size of the substrate. The substrate can be constitutes either of a traditional laser bar, or advantageously according to the invention of a substrate microlaser which east constitutes of a single-crystal blade a thickness for example of 500 [micro]m has 2 mm of preference of 0,1 mm has 2 Misters Of preference this blade is polished with its two faces paralleles. The single-crystal layer of saturable material absorbing in YAG, according to the invention, presente a specific structure which makes it possible to keep the feasibility of a compact device and a collective manufacture has cost low. This structure does not call into question the proprietes of material, but on the contrary makes it possible to improve them by the use of the phenomena of waves guidees in certain cases. The single-crystal layers of saturable material absorbing according to the invention presentent, moreover, all the advantages inherents with the procedure of growth by liquid phase epitaxy (LPE) by which they are obtained or likely to be obtained. These advantages are developpes thoroughly in the document of former art quotes above. In particular, it is possible, by this procedure of LPE, to obtain, of dopings homogenes, for example out of chromium, rare earths, into metaux of transition, or gallium.

This parameter of homogeneity is an essential parameter when one wants to optimize the optical performances of a device. In the technique of liquid phase epitaxy, according to the invention, the layers are realisees has constant temperature in the range definie further and presentent, so a good homogeneity of composition in volume. Only the interface and the surface of the layer can be possibly disturb, but then a light polishing of surface makes it possible to be freed from this defect. Moreover, the epitaxy allows acceder has concentrations by doping much more elevees that the traditional procedures of massive crystal growth, which makes it possible to use layers very low thickness with the advantages which decoulent some. The liquid phase epitaxy offers, in addition, the possibility of carrying out codopages by various ions, indeed, it is often necessary to use several substitutions to optimize the proprietes epitaxiee layer, such as, the index cell parameter of refraction, absorption etc... By the technique of liquid phase epitaxy, it is possible of preparer

complex layers of compositions has several cations. The technique of liquid phase epitaxy allows a control ease thickness of the deposee layer, this one has, generally, a thickness of 1 A 500 [micro]m, of preference of 1 A 200 [micro]m, of preference still of 20 A 150 [micro]m, better of 50 A 100 [micro]m. One will speak about [laquo] thin layers [raquo] for thicknesses generally of 1 A 150 [micro]m, of preference of 1 A 100 [micro]m. the speed of growth being generally about 1 [micro]m/mn; one can relatively quickly, it be-A-statement in the space of a few hours, preparer of the layers having a thickness of 100 [micro]m. By single-crystal layer of saturable material absorbing in YAG one dopes hears a YAG having at least a substitution by an ion conferant proprietes of saturable absorbent to him. Thus the YAG can it be additive by one or more doping ions choisi(s) among the ions Chrome (Cr), Erbium (er), Thullium (Tm) and Holmium (HO). Of preference, the aforementioned doping ion is chromium Cr (4+). The proportion of the doping agent conferant with the YAG its proprietes absorbents saturable is generally (in mole) a few %, for example of 1 A 10 % for each-doping agent. In addition the YAG is generally first of all substitutes by ions Mg (2+) of a kind that substitution with the active ions such that the ions Cr (4+) can operate without compensation of load. It be-A-statement that in this case the YAG contains into definitive in the layer as many moles of Mg (2+) que of moles of Cr doping agent in particular (4+). Of same that the thickness, the rate of doping and the nature of the doping agent of the layer of saturable absorbent are adapted to the laser which one wants to trigger so that the single-crystal layer of saturable absorbent presente a suitable saturable absorption has the wavelength of emission of the laser. For example, one will choose Cr (4+) pour an emitting laser has 1.06 μm , of the er (3+) pour an emitting laser has 1.5 μm or of Thullium (Tm) or Holmium (Ho) for an emitting laser 2 μm has. So a laser active ion of laser active material will correspond preferentially an active ion of the layer of saturable absorbent has. Following couples laser active ion - saturable ion absorbing are appropriate well: Nd-Cr, Er-Er, Tm-Ho, Yb-Cr.

According to the invention the couple Nd-Cr is particularly prefere. The single-crystal layer of saturable material absorbing oriented [100], or the substrate, of preference the layer, can also include (moreover) at least one (other) doping agent or substituent in order to modify one of it or the other of their proprietes, for example structural and/or optical, such as absorption, the index of refraction

and/or the cell parameter. These doping agents are selected for example among gallium and nonactive rare earths, such as lutecium, gadolinium, yttrium; by nonactive rare earths one generally understands rare earths which do not communicate proprieties such as proprieties of laser transmitter, amplifier or ACE with the YAG. One will be able moreover to thus carry out a codopage layers with Gallium (Ga) and/or a nonactive rare earth such as yttrium (Y), and/or lutecium (Lu) and/or gadolinium. An additional codopage preferre is a codopage Gallium-Lutecium, in which gallium is useful has to adapt the index, gallium widening in addition the mesh of the crystal lattice, this widening east compensates by of Lutecium. In a traditional way a cavity laser includes/understands moreover a mirror of entree and a mirror of exit. Of preference these mirrors are mirrors dichro[jum]ques. The mirror of entree is deposee directly on the laser active material substrate and the mirror of exit absorbing east depose directly on the single-crystal layer of saturable material. Laser according to the invention can take several forms each cavity corresponding has the form which can take the laser active material substrate, one will be able in this connection to again refer to the document Fr-A-2 712 743. Thus in the substrate can it be a laser bar; but, of preference, according to the invention the substrate is a substrate microlaser constitutes of a single-crystal blade, of preference a blade has faces paralleles polished on its two faces. The invention also relates to a procedure of collective manufacturing of triggered cavity microlasers having controled polarization. This procedure is virtually identical to the known traditional procedure of manufacture of microlasers but differers basically by the specific orientation [100] of the laser active material substrate and the single-crystal layer of saturable material absorbing.

This procedure generally thus includes the following stages: one provides a substrate out of active material laser $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG) dopes or not, directs [100] in the shape of a blade has faces paralleles polished on his two faces; one depose on one of the faces of the aforesaid material active laser $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG), a single-crystal layer of saturable material absorbing in YAG dopes, by liquid phase epitaxy or a similar procedure; one polishes the single-crystal layer of saturable absorbent thus deposee; one depose the mirrors of entree and exit on the two polished faces of the cavity; one decoupe the unit single-crystal-mirrors substrate-layer thus obtained. One obtains thus a great number of cavity microlasers (or microlasers)

declenchees, all these microlasers presentent characteristic of polarization known the and identical ones what strongly reduces by this fact their cost. The invention relates to finally a laser of preference a triggered microlaser has polarization control including one cavity such as deccribed above preference one caivty microlaser as well as means of pumping of this one. Of preference these means of pumping consist of at least a lamp or a diode which pumps the cavity according to a transverse or longitudinal direction. The procedure according to the invention of the fact, again of the specific orientation [1,0,0] of the substrate and the single-crystal layer, makes it possible to manufacture microlasers collectively having a direction of known polarization, which never had ete realise in former art. Indeed, the beam of the microlaser is obtained directly polarizes without any other operation or assembly what is compatible with a procedure of collective manufacture. In addition, the performances of the microlaser obtained are absolutely not degradees, compared to the microlasers prepares with substrates and traditional layers of ACE direct [111]. This maintenance of the performances malgre the unexpected choice of an orientation differente constitutes one of the effects and unexpected advantages of the invention. The performances not being degradees allow of this fact the use of the microlaser according to the invention in many applications such as the doubling of frequency. It is not necessary to test each microlaser individually or to use an external means for determiner the direction of polarization since all the microlasers have the caracteristiques ones of polarization known and identical. In addition to, the collective realization in particulier of microlasers green impulse of fa[ccedil]on, the invention finds its application in a general way in all the fields of nonlinear optics and in all the cases or an impulse beam polarizes lineairement is necessary, such as for example the doubling of frequency, the conversion of frequency such as the triplage, quadruplage etc..., and the optical parametric oscillation (OPO). The caracteristiques ones and advantages of the invention will apparaitront better has the reading of the description which will follow donnee has purely illustrative and nonrestrictive title. Thus, in manner more precise, the procedure of the invention includes/understands first of all, generally, a premiere stage of choice and preparation of the substrate. As mentions higher, the substrate can be very substrate on which a layer can be depose for example a thin layer of YAG, by the technique of liquid phase epitaxy, has the essential condition in

the invention, that the material of the aforesaid substrate either directs [100].

These substrates have already been for the majority described above. The type of laser has to carry out determine the ion or the ions doping agent of the layer of YAG deposited, as well as the type of YAG used for the substrate. The operating mode of this laser determines if the substrate must be constituted of a laser active material or not, like its form and its dimensions. The dimension and the form of the substrate are variable, one of the advantages of the technique of liquid phase epitaxy is precisely that it makes it possible to carry out layers of excellent quality, whatever the form, same complex, and cuts it substrate. The substrate can, for example, be prepared from an ingot of YAG or not doped, of a diameter, for example, of 1" has 2 "(inches), it be a statement approximately 25 A 50 mm, directs [100]. To obtain such an orientation with the substrate, one can, either to direct a crystal draws according to the traditional direction [111], or to directly draw a crystal according to the orientation [100] what is possible with the help of some adaptations of the conditions of growth: reduction the speed of pulling, increase in the time of cooling. Whatever the manufacturing process of the crystals direct [100] they can of all fabrication be easily obtained on the market. There decoupe from this ingot of the substrates, for example in the shape of blades are faces paralleles using an instrument of adequate cut, for example using a saw has blade diamantée. These substrates in the shape of blade can have a variable thickness for example of 500 μ m to 2 mm. One proceeds then with the grinding and the polishing of at least one of the faces of the substrate. Grinding has as a role: on the one hand, to remove the surface layer of work hardening due to the decoupe; in addition, if required, to bring back the thickness of the blades has the wanted thickness, for example in the case of a laser application, this thickness is slightly higher to the specification of the microlaser and is generally 100 A 1000 [micro]m. Indeed, the thickness of the active medium is a parameter which conditions certain characteristic microlaser, such as the width of the spectrum and the number of longitudinal modes, in particular. The substrates, for example the blades received and, possibly, approached wanted thickness, are then polished with an optical quality. Polishing relates to at least one of the faces of the substrate, but for certain types of operation, for example for a laser guides waves, the substrate can present two faces paralleles having this quality of polish. One speaks

thus about substrate has a polished face, or has two polished faces. Polishing is realised by a procedure mecanochemical so that the faces polie(s) soi(ent) exempte(s) of any defect (inclusion, dislocation, constraint, stripe, etc.) who would be propagated in the thickness of the layer at the time of the epitaxy. This quality of polishing is controlled by a chemical attack appropriate. The procedure has to implement is virtually identical to that developed for the substrates use in the traditional techniques of epitaxy. Following the premiere stage, choice and of preparation of the substrate, one proceeds then in a second stage has the preparation of the bath of epitaxy which is a solution saturated form of a solvent and a solute.

According to the invention, the bath of epitaxy is prepared, first of all, by weighing a mixture of the PbO oxides carefully - B (2)O (3) - the mixture of these two oxides forming solvent - Y (2)O (3) et Al (2)O (3) qui form the solute. The different(s) doping agent est(sont) also, possibly, addition in the form of oxide, for example CrO (2) et MgO, it is also sometimes necessary, to carry out the possible compensation of loads, to add one or more other oxides such as oxides of the elements quote higher. The concentration in moles % of various oxides in the bath of epitaxy for the preparation of YAG not additive is in mole %, for example, of 0,5 A 0,7 mole % of Y (2)O (3), of 1,5 A 2,5 mole % of Al (2)O (3), of 80 A 90 mole % of PbO, and 5 A 10 mole % of B (2)O (3).

Oxides of the doping agent when il(s) est(sont) present(s) est(sont) in the proportions indiquées above for each one of them it be a statement for example 0,5 A 2,0 mole % of CrO (2) et 0,5 A 2,0 mole % of MgO. A typical mixture is, has title of example, constitutes of 14 G Y (2)O (3), 15 G of Al (2)O (3), 6 G of MgO, 23 G of CrO (2), 1700 G of PbO and 45 G of B (2)O (3).

The mixture solute, solvent is then molten in an appropriate provision, for example in a platinum crucible has a temperature, for example, of 900 A 1100[deg]C, for example of approximately 1000[deg]C to form the bath of epitaxy itself. The device, such as a crucible, is then place in a traditional device making it possible to carry out a crystalline growth by liquid phase epitaxy. This device is, for example, a furnace of epitaxy which is, in particular, a furnace has two zones of heating, has variation in temperature control. Of preference, the substrate east animates of a uniform translation or rotational movement, or alternates allowing a

deposit a thickness homogeneous. Likewise, the bath of epitaxy can be agitated mechanically using an appropriate provision, such as a platinum agitator. A pin supporting the agitator, or the unit carries substrate-substrate makes it possible to communicate the desired movements has one or the other. The third stage of the procedure is the stage of epitaxy itself. According to the invention, the operation of liquid phase epitaxy is realized has a constant temperature in the range of 1000[deg]C has 1100[deg]C, which makes it possible to obtain a concentration by doping homogeneous in the thickness of the layer of YAG.

One starts, for example, has to agitate the liquid mixture mechanically has a slightly higher temperature has the temperature of epitaxial growth, for example, higher has approximately 1150[deg]C using the device of agitation already described, such as a platinum agitator. One lowers then the temperature of the furnace until A the temperature of hardening which is, of preference, still of 1000 has 1100[deg]C.

The substrate, for example positioned horizontally is then put in contact with the bath of epitaxy, the substrates has a polished face are hardened on the surface of the bath whereas the substrates has two polished faces are immersed in this bath. Duration of the setting in contact depends of the thickness desired, this thickness being able to higher vary in the ranges already cited, it be a statement of 1 A 500 [micrometers], for example 100 [micrometers]. Speeds of growth are generally about 0.5 to 1 micrometers/mn.

According to the invention and in order to take account of the difference in behavior between the [111] oriented substrates prior art and the [100] oriented substrates implemented in the invention, an adaptation of the conditions of growth is necessary because the [100] orientation entails on the one hand an increase the speed of growth and on the other hand an increased fragility of the crystals, the duration of hardening or duration of setting in contact is slightly less in the procedure of the invention and will be thus generally decreased by approximately 1/4 of time compared to the oriented [111] substrates

In addition and again to take into account the difference in behavior between the [111] and [100] oriented substrates the phases of cooling are particularly controlled to decrease to the maximum the thermal shocks: remounting slow of the substrate

out of the furnace has a speed of 10 mm per minute instead of 50 mm per minute. At the exit of the bath of epitaxy, the substrate and it (for a substrate a face has) or the epitaxial layer(s) (for a substrate has two faces, with an epitaxial layer on each face) undergo an operation destined to eliminate solvent. For example, the substrate removed is subjected has a rotational movement accelerated to eject the solvent remainders. A chemical cleaning, with the means for example of an acid such as HNO_3 terminates the epitaxy stage.

The following stages are similar to those traditional stages implemented for the realization of the microlasers oriented [1,1,1]. One carries out a polishing of the layer of saturable absorbent so in particular adjusting his properties absorption. This polishing is generally realized by chemical attack for example in phosphoric acid or by polishing mechanically. One deposits then directly the mirrors of entrance and exit of laser cavity and one decouples the unit forms by the substrate in the shape of blade, the single-crystal layer of saturable material absorbing, and the mirrors, in a great number of thus cavity microlasers in the form for example of parallelepipeds generally of 1mm X 1 mm each one constitutes a cavity triggered microlaser, has polarization perfectly controlled.

It has been noted that the performances of the microlasers obtained such as the energy of the laser pulsation, its duration, and its frequency of repetition, are not degraded.

ENGLISH-CLAIMS:

1. Laser cavity with controlled polarization containing a substrate made of a doped or undoped active laser material $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (YAG) on which a monocrystalline layer of saturable absorber material made of doped YAG is deposited directly by liquid phase epitaxy or by a similar process, in which the said active laser material has a [100] orientation, and the said monocrystalline layer of saturable absorbent material is deposited with the same [100] orientation.
2. Laser cavity according to claim 1, in which the said monocrystalline layer of doped saturable absorbent material is obtained by liquid phase epitaxy (LPE).
3. Laser cavity according to either of claims 1 or 2, in which the substrate is a YAG active laser material, doped by one or several doping ion(s) that confer active laser material properties on it, and for example chosen among the Nd, Cr, Er, Yb, Ho, Tm, and Ce ions.

4. Cavity according to claim 3, in which the doping ion is neodymium (Nd).
5. Cavity according to either of claims 3 or 4, in which the proportion of the doping ion(s) is 0.1 to 10 moles % for each ion.
6. Laser cavity according to any one of claims 1 to 5 in which the monocrystalline layer of a saturable absorbent material is a YAG doped with one or several doping ions chosen among Chromium (Cr), Erbium (Er), Thulium (Tm), and Holmium (Ho) ions.
7. Laser cavity according to claim 6, in which the said doping ion is Chromium.
8. Laser cavity according to either of claims 6 or 7, in which the proportion of the doping ion(s) is 1 to 10 moles % for each doping ion.
9. Cavity according to any one of claims 1 to 8 in which the layer and/or the substrate are (also) doped with at least one (other) doping agent or substitute in order to modify their structural and/or optical properties.
10. Cavity according to claim 9, in which the said (other) doping ion is chosen among gallium and inactive rare earths.
11. Cavity according to any one of claims 1 to 10, in which the thickness of the monocrystalline layer of saturable absorbent material is between 1 and 500 [micro]m.
12. Cavity according to claim 10, in which the said monocrystalline layer of saturable absorbent material is a thin layer with a thickness of between 1 and 150 [micro]m.
13. Laser cavity according to any one of claims 1 to 12, which also comprises an entry mirror and an exit mirror, the said entry mirror being directly deposited on the substrate made of an active laser material.
13. Laser cavity according to claim 12, in which the exit mirror is directly deposited on the monocrystalline layer made of a saturable absorbent material.
14. Process for the collective manufacture of triggered microlaser cavities with controlled polarization comprising the following steps: a substrate made of a doped or undoped Y (3)Al (5)O (12)(YAG) active laser material with a [100] orientation is supplied in the shape of a sheet with parallel faces polished on its two faces; a monocrystalline layer of doped YAG saturable absorbent material is deposited on one of the faces of the said Y (3)Al (5)O (12)(YAG) active laser material in accordance with the same [100] orientation, by liquid phase epitaxy or by a similar process; the saturable absorbent monocrystalline layer thus deposited is polished;

the entry and exit mirrors are deposited on the two polished faces of the cavity;
the substrate-monocrystalline layer-mirrors complex thus obtained is cut out.

15. Triggered laser with controlled polarization comprising a cavity like the cavity according to any one of claims 1 to 14, and pumping means for this cavity.

GERMAN CLAIMS (TRANSLATED)

Laser resonator with steered polarization, a substrate from active laser material Y (3)Al (5)O (12)(YAG) comprehensively, endows or nondoped, on which by Flüssigphasen Exptaxie or a similar procedure a monocrystalline layer from endowed sattigbarem YAG Absorptionsmaterial separated directly, with which the active laser material mentioned the orientation [100] and which monocrystalline layer mentioned from sattigbarem absorption material exhibits separated according to the same orientation [100]. Laser resonator according to requirement 1, with which the monocrystalline layer mentioned is manufactured by means of river IGP hare epitaxy from endowed sattigbarem absorption material. Resonator after one the requirement 1 and 2, with which the substrate is an active YAG Lasermaterial, endowed with or several it the characteristics of an active laser material a lending Dotierion(en), ausgewählt under Ip -, CR -, it -, Yb -, Ho -, TM and Ce-ions. Resonator according to requirement 3, with which the doping ion mentioned is neodymium (Ip). Resonator after one the requirement 3 to 4, with which the portion of the doping ion or the doping ions 0.1 to 10 Mol% fur everyone of them amount to. Laser resonator after one the requirement 1 to 5, with that the monocrystalline layer from sattigbarem, with or several under the Ionen chrome (CR), erbium (it), Thulliums (TM) and Holmiums (Ho) ausgewählten doping ions endowed YAG Absorptionsmaterial are. Laser resonator according to requirement 6, with which the doping ion mentioned is chrome. Resonator after one the requirement 6 and 7, with which the portion of the doping ion or the doping ions 1 to 10 Mol% fur everyone of them amount to. Resonator after one the requirement 1 to 8, with which the layer and/or the substrate (auserdem) are endowed by at least (other and/or further) a dopant or a substituent, that erm[ouml]glicht, their structural or optical characteristics to modify. Resonator according to requirement 9, with that is ausgewählt (others) the dopant mentioned under gallium and the inactive rare-earth metals. Resonator after one the

requirement 1 to 10, with which the monocrystalline layer from saturable absorption material a thickness from 1 to 500 [μm] has. Resonator according to requirement 10, with which the monocrystalline layer mentioned from saturable absorption material a thickness from 1 to 150 [μm] has. Laser resonator after one the requirement 1 to 12, the also an entrance mirror and an output mirror covers, whereby the entrance mirror separated directly on the substrate from active laser material. Laser resonator according to requirement 12, with which the output mirror separated directly on the monocrystalline layer from saturable absorption material. Procedure for the collective and/or collecting production of good micro laser resonators with regulated polarization, which covers the following steps: one places a substrate from endowed or nondoped active material $\text{Y (3)Al (5)O (12)(YAG)}$ of orientation [100] ready, which exhibit the form of a plate with parallel flattening and/or sides and whose both flattening and/or sides is polished; one separates a flattening of the active laser material mentioned $\text{Y (3)Al (5)O (12)(YAG)}$ a monocrystalline layer from endowed saturable absorption material. Absorption material off, according to the same orientation [100] by river IGP have epitaxy or a similar procedure on one that; one polishes the in such a manner separated monocrystalline layer from saturable absorption material; one separates the initially and output mirror on both polished flattening of the resonator; one cuts the in such a manner manufactured, by the substrate, the monocrystalline layer and the mirrors formed whole ones. Property-switched laser with steered polarization, a resonator after one the requirement 1 to 14 as well as pumping mechanisms of this resonator comprehensively.

FRENCH CLAIMS (TRANSLATED)

Cavity laser A polarization controllable including an active material substrate laser $\text{Y (3)Al (5)O (12)(YAG)}$ dopes or not, on which is deposited directly by liquid phase epitaxy or a similar procedure, a single-crystal layer of saturable material absorbing in YAG dopes, in which the aforementioned active material laser east directs [100], and the aforementioned single-crystal layer of saturable material absorbing is deposited according to the same orientation [100]. Cavity laser according to the claim 1 in which the aforementioned single-crystal layer of material absorbing saturable additive is obtained by liquid phase epitaxy (LPE). Cavity according to any of claims 1 and 2 in which the substrate is an active material laser YAG dopes

by one or more ion doping agent conferant laser active material properties to him chosen among the ions Nd, Cr, Er, Yb, Ho, Tm, and It. Cavity according to the claim 3 in which the aforementioned doping ion is Neodymium (Nd). Cavity according to any of the claims 3 has 4 in which the proportion of the ion doping agents is 0,1 A 10 mole % for each one of them. Cavity laser according to any of the claims 1 has 5 in which the single-crystal layer of saturable material absorbing is in YAG dopes by one or more ion doping agent chosen(s) among the ions Chrome (Cr), Erbium (Er), Thulium (Tm) and Holmium (Ho). Cavity laser according to the claim 6 in which the aforementioned doping ion is chromium. Cavity according to any of the claims 6 and 7 in which the proportion of the ion doping agent is 1 A 10 mole % for each one of them. Cavity according to any of the claims 1 has 8 in which the layer and/or the substrate are (moreover) additive by at least one (other) doping agent or substituent making it possible to modify their properties structural and/or optical. Cavity according to the claim 9 in which the aforementioned (other) doping agent is selected among gallium and nonactive rare earths. Cavity according to any of the claims 1 has 10 in which the single-crystal layer of material absorbing saturable A a thickness of 1 A 500 [μm]. Cavity according to the claim 10 in which the aforementioned single-crystal layer of saturable material absorbing is a thin layer a thickness of 1 A 150 [μm]. Cavity laser according to any of the claims 1 has 12 which includes/understands moreover a mirror of entrance and a mirror of exit, the aforementioned mirror of entrance being deposited directly on the laser active material substrate. Cavity laser according to the claim 12 in which the mirror of exit absorbing east deposited directly on the single-crystal layer of saturable material. Procedure of collective manufacture of triggered cavity microlasers has polarization controllable including the following stages: one provides a substrate out of active material laser $\text{Y (3)Al (5)O (12)(YAG)}$ dopes or not, directs [100] in the shape of a blade has faces parallel polished on his two faces; one deposits on one of the faces of the aforesaid material active laser $\text{Y (3)Al (5)O (12)(YAG)}$, a single-crystal layer of saturable material absorbing in YAG dopes according to the same orientation [100], by liquid phase epitaxy or a similar procedure; one polishes the single-crystal layer of saturable absorbent thus deposited; one deposits the mirrors of entrance and exit on the two polished faces of cavities; one decouples the unit single-crystal-mirrors substrate-layer thus obtained. Triggered Laser has polarization

controlee including a cavity according to any of
claims 1 A 14 as well as means of pumping of this
cavity.